

도시고형폐기물 소각비산재의 Electrokinetic 정화

조용실 · 한상재* · 김수삼

중앙대학교 건설환경공학과, *중앙대학교 미래신기술연구소

nicecys@netian.com

요 약 문

In general, municipal solid waste incinerator fly ash (MSWIF) has a potential hazardous leaching of heavy metal with subsurface environment variation. Therefore, to remove the heavy metal from MSWIF electrokinetic technology were used. With constant current density condition heavy metals in MSWIF removed by ion migration. During 7 days operation 40~80% of Cr, Cd and As were removed and longer operation, 14 days treatment, showed 35~100% removal efficiency.

key word : MSWIF, electrokinetic remediation, heavy metal, ion migration.

1. 서론

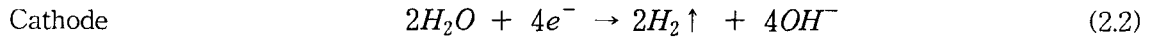
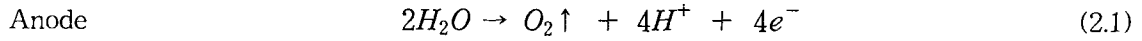
도시폐기물을 소각처리할 경우 발생하는 소각재의 양은 전체 폐기물 부피의 10% 정도 이므로 매립지의 사용연한을 연장시키는 효과가 있다. 그러나 이한길(1992)은 MSWIF의 중금속 용출 위험성을 지적한 바 있으며, 김진범과 이우근(1997)은 안정화되지 않는 MSWIF는 중금속(Pb, Cd)의 용출 가능성이 있으며 중금속 용출량은 pH의 영향을 크게 받는다고 보고한 바 있다. 이러한 중금속의 용출로 인한 지반의 2차오염이 우려되는 바 MSWIF의 적절한 관리와 함께 근본적인 정화방법이 필요한 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 MSWIF의 적정처리를 위해 세립토 지반의 원위치 정화 (in-situ remediation)에 있어 최적의 대안으로 제시되고 있는 Electrokinetic(EK) 정화기술을 이용하여 중금속을 제거하고자 하였다.

2. 본론

2.1 이론적 배경

지반에 직류전기장을 가하면 대전된 입자들은 전기삼투(electroosmosis), 이온이동 (ion migration), 전기영동 (electrophoresis) 에 의하여 이동한다 (Mitchell, 1993). 직류전기를 흡수 가하였을 때 양이온은 음극방향으로 음이온은 양극방향으로 각각 전기적으로 이동할 것이다. 이때 식 (2.1)과 (2.2)와 같은 전기분해에 의하여 양극부는 산성화되고 음극부는 염기화된다. 산전선은 전기적 이동, 간극유체의 이류와 확산에 의해 음극으로 이동하고, 음극에서 생성된 염기전선은 전기적 이동과 확산에 의하여 양극으로 이동한다(Acar and Alshawabkeh, 1993; Shapiro and Probstein, 1993).



2.2 실험재료 및 방법

본 연구에서는 Electokinetic 정화기술을 이용하여 MSWIF로부터 중금속을 제거하기 위한 실험을 실시하였다. 본 시험에 사용한 MSWIF의 화학적 특성을 Table 1에 정리하였다. 실험 조건은 Table 2에 나타내었으며 EK 실험셀을 Fig. 1에 나타내었는데 셀은 크게 Soil Cell과 전극수조로 구성되어 있다. 실험전후의 pH를 측정하였으며 실험종료 후 시료를 10등분하여 MSWIF 10g에 0.1N HCl 50 ml를 첨가하여 전처리한 후 ICP-AES를 이용하여 중금속 함유량을 분석하였다.

Table 1. Chemical Composition of MSWIF

Chemical Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	LOI	Total
MSWIF	6.17	2.64	0.53	7.57	1.73	14.70	13.95	14.55	61.84

Table 2 Test conditions for electrokinetic test

Code	Duration (days)	Applied current density voltage (mA/cm ²)
US	7	0.5
UL	14	0.5

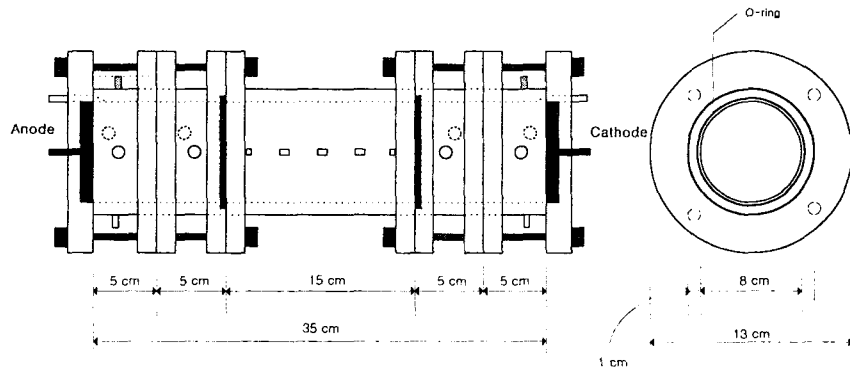


Fig. 1. Schematic of electrokinetic remediation cell (a) Side view, (b) cross section

2.3 실험결과 및 분석

MSWIF에 고농도로 함유된 중금속의 처리를 위하여 EK를 적용하였다. Fig. 1a와 Fig. 2a는 7일간의 정화를 실시한 시료를 10등분하여 중금속의 함유량을 분석한 것이고 Fig. 1a와 Fig. 2a에서 BK는 EK를 적용하기 전의 시료에 존재하는 중금속의 농도를 나타낸다.

Fig. 1a Fig. 2a를 비교하여 보면 중금속의 정화시간에 따라 중금속의 제거율이 높아짐을

알 수 있다. EK 실험에서 전기삼투에 의한 유출 수는 없었으며 양쪽 저수조에서 pH 변화가 뚜렷이 발생하였는데 양(+)-극에서는 pH 2 정도의 낮은 값을 나타내었으며 음극에서는 12 정도의 높은 pH 값을 나타내었다. US-test에서는 시료내의 pH는 거의 일정하게 유지되었으나 UL-test에서 시료내의 pH는 양극부와 음극부에 인접한 영역에서 변화하였는데 UL-1에서는 초기 pH 9.44보다 낮은 7.87을 나타내었고 음극부에 인접한 UL-10은 11.28로 높게 나타내었다. 이러한 양극부와 음극부에 인접한 부분에서의 pH 변화는 전기분해에 의해 발생한 H^+ 이온과 OH^- 이온의 이동에 기인한 것이다(Acar, 1993).

0.1 N HCl을 이용하여 전처리한 UL시료에서의 중금속의 농도는 UL-1과 UL-5를 제외하고 Cr은 검출한계 미만이었으며, Cd은 35~95% 까지 제거되었으며 As는 55~100%. 제거되었다(Fig. 4). 이러한 제거효율은 이온이동에 의한 것으로 추정된다. 또한 양극부에 인접한 시료에서 중금속의 함량이 높게 검출된 이유는 pH가 7~8 정도인 UL-1 시료에 다른

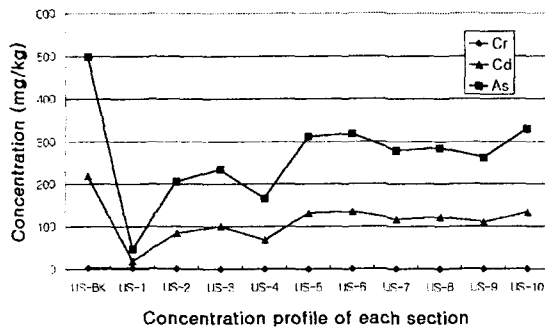


Fig. 1a Heavy metal concentration profile in each part after US EK treatment.

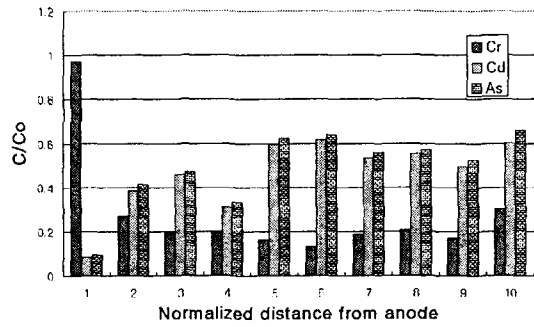


Fig. 1b Relative heavy metal concentration profile in each part after US EK treatment.

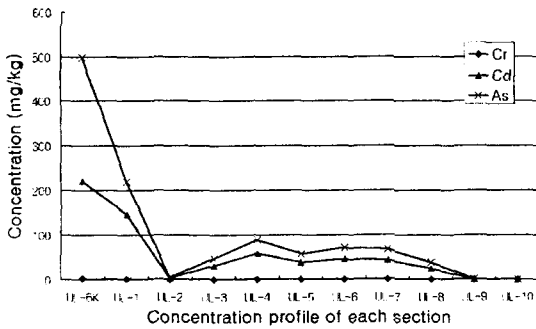


Fig. 2a Heavy metal concentration profile in each part after UL EK treatment

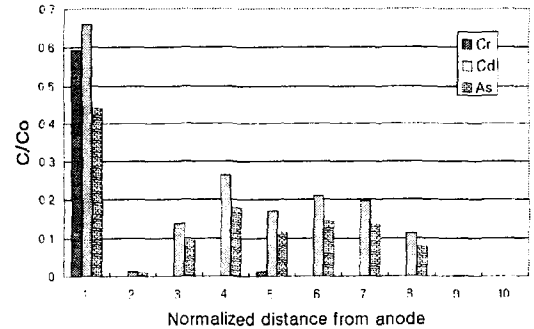


Fig. b Relative heavy metal concentration profile in each part after UL EK treatment.

부분의 시료와 동일한 전처리 조건을 적용함으로써 중금속의 추출량이 상대적으로 과대하게 나타난 것으로 추정할 수 있다. 따라서 추가적인 연속추출법등의 방법을 이용하여 시료내에 남아있는 중금속에 대한 정확한 정량적인 분석이 필요하며, 또한 폐기물 관리법에서 규정한 용출한계치에 대한 검증이 필요하다.

3. 결론

MSWIF에 대한 EK 처리 시험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 일정전류 조건하에서 운전한 EK 처리 실험에서 MSWIF로부터의 중금속의 제거효율은 운전시간이 길수록 증가하였다.
2. 대상시료의 높은 완충능으로 산전선과 염기전선의 이동은 극히 미약하여 산전선을 이용한 탈착/유동화에 의한 중금속의 처리는 어려운 것으로 판단된다.
3. 중금속의 제거율을 보면 7일간 운전한 US-test의 경우 US-1을 제외하면 $Cr > Cd > As$ 의 순서로 나타났으며, 14일간 운전한 UL-test의 경우 UL-1을 제외하면 $Cr > As > Cd$ 의 순서로 나타났다. 시간이 경과할수록 As의 제거율이 높아졌다. Cr은 UL-1과 UL-5를 제외하면 UL-test에서 검출한계 미만의 값을 나타냈다.
4. UL-test 결과의 UL-1 단면에서 중금속의 검출량이 높게 추정되었는데 이는 pH를 고려하지 않은 동일한 전처리 조건 때문인 것으로 사료된다. 따라서 전처리 시 시료의 초기 pH를 고려하여야만 정량적인 분석이 될 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

- 1) 김진범, 이우근. “도시폐기물 소각잔사 중에 함유된 중금속의 용출특성에 관한 연구.” 대한환경공학회지, Vol. 19, No. 4, 481-490, (1997).
- 2) 이한길, “도시쓰레기 소각재의 중금속 및 무기염류의 용출 특성에 관한 연구”, 서울시립대 석사학위논문, 1992
- 3) 환경부 “2000 생활폐기물소각시설 운영현황.”(2001).
- 4) Acar, Y. B., and Alshawabkeh, A. N., “Principles of electrokinetic remediation. *Environmental Science & Technology*”, Vol. 27, No. 13, 2638-2647 (1993).
- 5) Mitchell, J. K., *Fundamentals of Soil Behavior*, John Wiley & Sons, Inc. (1993).
- 6) Shapiro, A. P., and Probstein, R. F., “Removal of contaminants from saturated clay by eletro-osmosis”, *Environmental Science & Technology*, Vol. 27, No. 2, 283-291 (1993).